Physikalische Grundlagen der Medizin.

Anwendung eines Spitzenzählers zur näheren Bestimmung der mitogenetischen Strahlung.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt von der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn

Von

Lothar Peukert

aus Bonn.

1938

Buchdruckerei Richard Mayr, Würzburg.

Referent: Professor Dr. L. Grebe

Correferent: Professor Dr. W. Schmitz

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Allgemeines.

Zahlreiche Anwendungen des Zählrohres in der Form, wie sie von Geiger und Müller (1) angegeben wurde, haben seine Brauchbarkeit zum Nachweis kleinster Strahlungsenergien erwiesen. Zunächst eignete es sich nur zur Registrierung von Strahlen, die in das Innere des Rohres zu dringen vermochten, also zum Nachweis von Korpuskularstrahlen und harten Röntgenstrahlen. Um nun das Zählrohr auch auf längerwellige Strahlen anwenden zu können, muß man dafür sorgen, diesen Strahlen in das Innere des Zählrohres Eingang zu verschaffen. Ferner muß man die Innenwand aus einem Material herstellen, das für die betreffende Strahlung ausreichende lichtelektrische Empfindlichkeit besitzt.

Von Rajewsky (2) ist die Konstruktion eines derartigen Zählrohres zum ersten Mal beschrieben worden. Er versah das Zählrohr an zweckmäßiger Stelle mit einem Fenster und es gelang ihm, mit diesem Lichtzähler die Empfindlichkeit der bisher benutzten Photozellen um das Zehntausendfache und mehr zu übertreffen. Diese Überlegenheit des Zählrohres über die Photozelle erklärt sich dadurch, daß dieses jedes einzelne ausgelöste Elektron und Ion registrieren kann, während jenes nur die Summe einer im allgemeinen recht beträchtlichen Anzahl von Photoelektronen nachzuweisen imstande ist.

Nach dem jeweiligen Verwendungszweck hat dann Rajewsky (3) das von ihm konstruierte Zählrohr in den Einzelheiten, wie Form und innere Anordnung der Elektroden weiter entwickelt, ohne jedoch den charakteristischen Aufbau eines Zählrohrs zu verlassen. Mit Erfolg sind dann Zählrohre dieser Art zu vielen Versuchen verwendet worden, so von Kreuchen und Hausser (4), Kreuchen (5) u. a.

Eine besondere Art von Zählrohren wird von Bachem (6) und unabhängig davon von Sturm (7) angegeben. Es ist dies der Spitzenlichtzähler, der ebenfalls kleinste Lichtenergien nachzuweisen gestattet.

Im allgemeinen bietet es keine großen Schwierigkeiten, einen brauchbaren Lichtzähler zu konstruieren, da die Grenzen der Funktionsbedingungen in Spannung, Druck und Dimension der Elektroden verhältnismäßig weit auseinander liegen.

Die Form des benutzten Zählrohres.

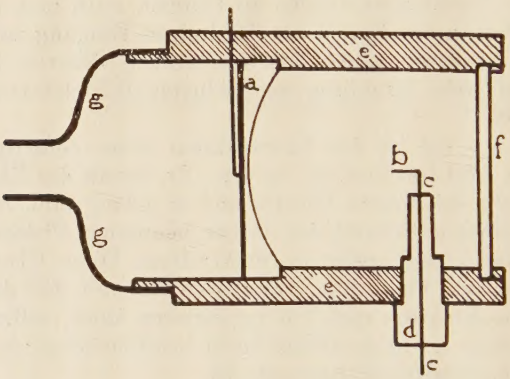
Zu den folgenden Messungen wurde ein Spitzenlichtzähler benutzt. Dieser erwies sich gegenüber der Verwendung der zylindrischen Zählrohrform als vorteilhafter, weil bei diesem die sogenannte Dunkelstoß-

zahl, die durch die stets vorhandene radioaktive und kosmische Strahlung verursacht wird, durch Verkleinerung der der Strahlung ausgesetzten Oberfläche leicht vermindert werden kann, und sich schon mit verhältnismäßig einfachen Mitteln eine genügend empfindliche Zählanordnung erreichen läßt.

Da Bachem (6) und Krost (8)[1] mit gutem Erfolg einen Spitzenzähler benutzt hatten, dessen Gehäuse aus Hartgummi und dessen Kathode aus reinem Cadmium bestand, wurde auch zu den nachfolgenden Untersuchungen ein ähnliches Zählrohr verwendet.

Die schließliche Form des Spitzenlichtzählers ist aus Figur 1 zu ersehen (s. Krost).

Fig. 1



(a) und (b) bedeuten die Elektroden. Die Kathode (a) besteht aus reinem Cadmium und ist in Richtung der einfallenden Strahlung sphärisch konkav ausgeschliffen. Die Anode (b) ist an den Zuführungsdraht (c) gelötet, der mittels eines Trolitulbolzens (d) in das Hartgummigehäuse (e) eingelassen ist. Das Gehäuse ist auf der der Kathode gegenüberliegenden Seite mit einem aus reinem Bergkrystall geschnittenen Fenster (f) abgeschlossen. Auf der entgegengesetzten Seite begrenzt ein Glasansatz (g), der zum Manometer und zur Pumpe führt, den Lichtzähler. Quarzfenster und Glasansatz sind mit Pizein an dem Hartgummigehäuse befestigt, ebenfalls sind die Fugen zwischen den Elektrodenzuleitungen und dem Gehäuse mit Pizein ausgegossen.

Das Gehäuse hat einen inneren Durchmesser von 3,4 cm. Die wirksame Fläche der Kathode hat einen Krümmungsradius von 2,4 cm und einen Flächeninhalt von ungefähr 6,8 cm^2, der durch eine ringförmige Blende aus geeignetem Isolationsmaterial zur Herabsetzung der Dunkelstoßzahl beliebig vermindert werden kann. Der Rand der Kathode wurde abgerundet, da sonst durch Spitzenwirkung ein bevorzugter Über-

1) Die Anregung zu beiden Arbeiten gab Herr Prof. Dr. Grebe.

gang an diesen Randstellen auftreten konnte. Vor und zwischen den Messungen wurde die Kathode mit feinem Schmirgel und Wiener Kalk sorgfältig poliert und eventuelle Verunreinigungen mit Aceton beseitigt. Beim Einfügen der Kathode wurde darauf geachtet, daß sie möglichst genau senkrecht zu dem Gehäuse eingebaut und befestigt wurde.

Als Anode erwies sich zunächst ein Kupferdraht mit einem Durchmesser von 0,8 mm als brauchbar. Er zeigte aber den Nachteil, daß die Empfindlichkeit des Zählrohrs mit der Zeit stetig abnahm, eine Erscheinung, die wahrscheinlich durch Oxydation der Kupferanode verursacht wurde. Endgültig wurde eine Anode aus Platindraht von 0,4 mm Durchmesser und 1,4 mm Länge, die im Innern des Gehäuses an einen dickeren Kupferdraht gelötet war, verwendet. Die Anodenzuführung mußte gegen das Gehäuse durch einen Trolitulstopfen isoliert werden, weil es sich bei den Vormessungen zeigte, daß schon bei geringer Verunreinigung des Gehäuses, das dann leitend wird, eine abreißende Entladung im Zählrohr nicht mehr erreicht werden konnte. Es trat dann eine bei einer für den Druck charakteristischen Spannung eine selbständige Glimmentladung auf.

Die ganze Aufmerksamkeit wurde bei der Konstruktion des Lichtzählers darauf gerichtet, daß die Anodenspitze erreichbar genau im Krümmungsmittelpunkt der Kathode angebracht wurde. Saß z. B. die Spitze etwas seitlich vom Mittelpunkt, so wurden die von der entsprechenden Seite der Kathode austretenden Photoelektronen von der Anode bevorzugt erfaßt, während die auf der entgegengesetzten Seite der Kathode austretenden Elektronen nur zum Teil in den Bereich der Anode gelangten. Reichte aber die Spitze zu nahe an die Kathode heran, so wurden die am Rande ausgelösten Photoelektronen nur zu einem Bruchteil von der Anode aufgefangen, während die aus einem mittleren Bezirk austretenden bevorzugt wurden. Beide Fälle hatten eine Herabsetzung der wirksamen Kathodenfläche und damit der Empfindlichkeit des Spitzenzählers zur Folge.

Die Registrierung der Stromstöße.

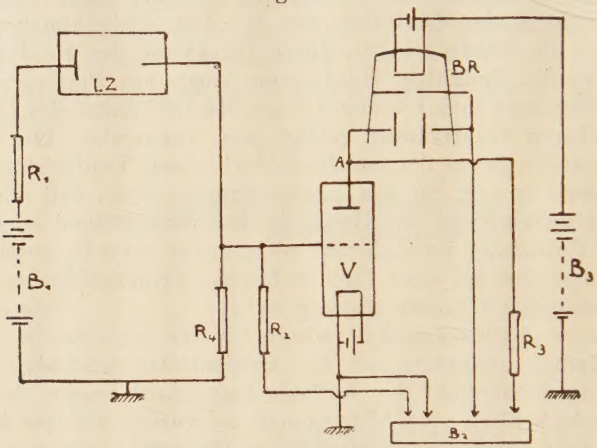
Die Registrierung der im Zählrohr ausgelösten Stoßentladungen wurde auf zwei Arten vorgenommen. Einmal wurden die Stromstöße in Anlehnung an die Angaben von M e d i k u s (9) mittels eines Einröhrenverstärkers durch eine Braunsche Röhre direkt sichtbar gemacht. Diese Methode wurde hauptsächlich benutzt, um die Vorgänge im Innern des Zählrohrs der Beobachtung zugänglich zu machen und somit fehlerhaftes Arbeiten des Lichtzählers (siehe Medikus (9)) aufzudecken und abstellen zu können.

Ferner wurde zur quantitativen Zählung der Stromstöße ein Zweiröhrenverstärker benutzt, der die einzelnen Entladungen auf einen Tele-

phonsprechzähler übertrug. Der Telephonzähler konnte maximal noch einer Stoßfolge von ungefähr 20 Stößen pro Sekunde oder 1200—1300 Stößen pro Minute folgen. Eine höhere Stoßzahl in der Minute konnte mittels der Braunschen Röhre geschätzt werden.

Die Schaltung des Lichtzählers und der Braunschen Röhre ist aus der Figur 2 zu ersehen.

Fig. 2

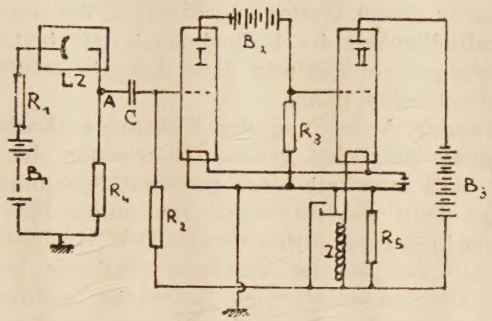


In der Figur bedeutet LZ den Lichtzähler, dessen Kathode durch die Hochspannungsbatterie B_1 die erforderliche Gleichspannung über den Widerstand R_1 zugeführt wird. Als Hochspannunsquelle erwies sich anfänglich ein Transformator mit eingebautem Spannungsteiler als ausreichend, da auf eine absolute konstante Spannung bei den Vorversuchen noch nicht gesehen zu werden brauchte. Der Sekundärwicklung war eine Glühventilröhre und über einen hohen Widerstand ein Kondensator von 0,5 Mikrofarad angeschlossen, dem die erforderliche Spannung entnommen werden konnte. Zu den folgenden Messungen der mitogenetischen und chemischen Strahlung, bei denen sich eine konstantere Spannung, als sie der ans Lichtnetz angeschlossene Transformator lieferte, für notwendig erwies, wurde eine Anodenbatterie als Hochspannungsquelle verwendet. V ist die Verstärkerröhre (R 034) und BR die Braunsche Röhre. Die Größe der Widerstände R sind: $R_1 = 1 \cdot 10^8$ Ohm, $R_2 = 5$ Megohm, $R_3 = 0{,}5$ Megohm, $R_4 = 3$—$5 \cdot 10^8$ Ohm. B_2 ist eine Anodenbatterie, der mittels der vier gezeichneten Kontakte von links nach rechts gerechnet die Spannungen 0,6, 200—230 und 300 Volt entnommen wurden. B_3 ist eine Hochspannungsbatterie von ungefähr 800 Volt.

Da es sich hier um eine allgemein angewandte Widerstandsverstärkerschaltung handelt, deren Einzelheiten aus der Figur gut ersichtlich sind, so erübrigt es sich, auf die Wirkungsweise des Verstärkers mit der Braunschen Röhre näher einzugehen.

Das Schema der Figur 3 stellt die Schaltung von Lichtzähler mit einem Zweiröhrenverstärker und Telephonsprechzähler dar[1]).

Fig. 3



Die Daten der einzelnen Teile der Schaltung sind: Verstärkerröhre I ist eine RE 0,34, II eine RE 134. Die Widerstände haben eine Größe von $R_1 = 1 \cdot 10^8$ Ohm, $R_2 = 1$ Megohm, $R_3 = 0{,}5$ Megohm, $R_4 = 3$—$5 \cdot 10^8$ Ohm, $R_5 = 5000$ Ohm. Der Telephonsprechzähler Z wurde auf 5000 Ohm umgewickelt. Es erwies sich eine Kopplungskapazität C von ungefähr 50 cm als am besten geeignet. B_2 und B_3 sind Anodenbatterien von ca. 60 und 120 Volt. Der Stromkreis, in dem der Lichtzähler LZ liegt, entspricht dem der Figur 2.

Alles Nähere der Anordnung und der Wirkungsweise des Verstärkers in Verbindung mit dem Telephonsprechzähler ist bei Krost zu ersehen (8), der die gleiche Schaltung eingehend beschrieben hat.

Bei den meisten der folgenden Untersuchungen wurde die Kombination der beiden beschriebenen Schaltungen benutzt, und zwar wurden die beiden Anordnungen im markierten Punkte A miteinander verbunden, d. h. der Anode des Lichtzählers in Anordnung der Figur 3 wurde ebenfalls die Anodenzuleitung der Verstärkerröhre V in Figur 2 angeschlossen. So war es möglich, quantitativ die Anzahl der Stromstöße in einer bestimmten Zeit durch den Telephonzähler zu registrieren, wie auch das einwandfreie Arbeiten des Zählrohrs und den Entladungsmechanismus im Lichtzähler mittels der Braunschen Röhre zu verfolgen und eintretendes Versagen der Verstärker oder des Telephonzählers zu entdecken und zu beseitigen.

---

1) Herrn Dr. Schmitz danke ich für die Anregung zu dieser Schaltung.

Die Arbeitsbedingungen des Zählrohrs.

Von einem oben beschriebenen Spitzenzähler muß verlangt werden, daß er als qualitatives Meßinstrument zur Registrierung aller einfallenden Strahlen in einem Wellenlängenbereich, der durch Quarzfenster und Photoempfindlichkeit des Kathodenmaterials bestimmt ist, dient. Je nachdem, wie gut ein Zählrohr diese Aufgabe erfüllt, unterscheidet man gute und schlechte Rohre.

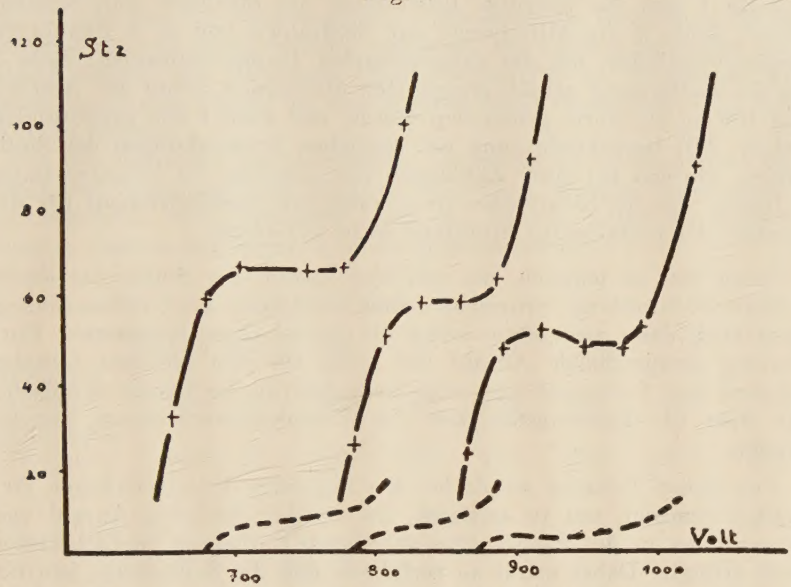
Durch bestimmte Anordnung der Elektroden (Kathode ausgedehnt gegenüber Anode, möglichst genaue Zentrierung der Anode) wurde dafür gesorgt, daß innerhalb eines gewissen Spannungsbereiches eine Entladung nur dann zündete, wenn von außen eine Ionisation des Gases im Zählrohr hervorgerufen wurde. Der Ableitwiderstand war so abgestimmt, daß der bei der Zündung fließende Strom unter der Grenze blieb, die eine selbständige Entladung bedingen würde. Jede Zündung mußte also bei dieser Anordnung sofort wieder abreißen. Neben manchen anderen Ansichten (Geiger und Müller) wird die oben entwickelte Erklärung des Entladungsmechanismus, abgesehen von einigen nebensächlichen Abweichungen noch von Medikus (9), Hummel (10), Kniekamp (11), Schulze (12) u. a. vertreten.

Anfänglich wurde mit Luft als Füllgas bei einem Druck von 2—4 mm Hg und einer Spannung von 700—1000 Volt gearbeitet. Mußte man jedoch auf gleichbleibende Empfindlichkeit für längere Zeit Wert legen, so zeigte sich Luft als Füllung nicht gut geeignet; denn durch die Oxydation der Kathode ließ die Empfindlichkeit des Zählrohrs schon nach 2—3 Tagen merklich nach. Deswegen wurde der Lichtzähler mit Wasserstoff gefüllt, der durch Calciumchlorid zuvor getrocknet worden war. Es erwies sich dann hinsichtlich der größten Empfindlichkeit ein Druck von 18—20 mm mit einem Spannungsbereich von 1200—1500 Volt bei einer Platinanode (0,4 mm ø) und von 500—900 Volt bei einer Anode aus Kupferdraht (0,8 mm ø) am günstigsten.

Der Spannungsbereich, in dem die Anzahl der Stromstöße in der Minute nur von der eingestrahlten Energie abhing, betrug bei dem oben beschriebenen Lichtzähler 80—100 Volt, wie man aus Figur 4 ersehen kann, die drei Kurven für die Stoßzahlen in Abhängigkeit von der Spannung zeigt.

Bei allen Messungen, die in dieser Figur eingetragen sind, wurde der gleiche Strahler, eine Osram-Birne 220 Volt 25 Watt, in einer Entfernung von 150 cm vom Quarzfenster des Lichtzählers verwendet. Das Nachlassen der Empfindlichkeit des Zählers mit steigendem Druck ist aus der Figur gut ersichtlich. Die gestrichelt gezeichneten Kurven zeigen die Zahl der entsprechenden Dunkelstöße. Wie schon erwähnt, ist im Verhältnis zu den zylindrischen Zählrohren die Dunkelstoßzahl des Spitzenlichtzählers gering. Dies erklärt sich durch die beschränkte

Fig. 4



Ausdehnung der Kathode und ferner auch dadurch, daß der Gasraum, in dem radioaktive und kosmische Strahlung wirken können, sich nur kegelförmig von der Kathode zur Anode erstreckt.

Um bei hohen Stoßzahlfolgen, die der Telephonsprechzähler infolge seiner Trägheit nicht mehr registrieren kann, wenigstens einen Anhalt über die Zahl der Stöße in bestimmter Zeit zu erhalten, wurde untersucht, ob das bekannte Abstandsgesetz über die Intensitätsänderung strahlender Körper durch den Spitzenzähler bestätigt wurde. Tabelle 1 zeigt das Resultat der Messungen für zwei verschieden starke Strahler. Obere Meßreihe wurde eine Osram-Birne 220 Volt 25 Watt, untere Meßreihe eine Osram-Birne 220 Volt 40 Watt benutzt.

Tabelle 1

Entfernung	50 cm	75	100	125	150	175
Mittelwert der Stoßz.:	120	57	31	21	13	10
errechnet:	124	55	31	20	14	10
Fehler %:	3	4	0	5	7	0

Entfernung:	50 cm	75	100	150	200
Mittelwert der Stoßz.:	592	270	147	65	38
errechnet:	588	262	147	65	37
Fehler %:	0,8	3	0	0	3

Mittlerer Fehler: 2,4%.

Zeile 1 gibt die jeweilige Entfernung des Strahlers vom Spitzenzähler, Zeile 2 die Mittelwerte der Stoßzahlen von je 5 Zählungen bereits vermindert um die entsprechenden Dunkelstoßzahlen, Zeile 3 die der Entfernung gemäß errechneten Stoßzahlen, wenn der Abstand von 100 cm als Norm genommen wurde, und Zeile 4 den prozentualen Fehler. Mit Berücksichtigung der zeitlichen Schwankungen der Stoßzahlen, die erst bei einer Zähldauer von ungefähr 30 Minuten unter 2 liegen, war der Lichtzähler als quantitatives Meßinstrument für die Energie der einfallenden Strahlung recht brauchbar.

Somit war es möglich, die zeitliche Anzahl der Stöße, die durch einfallende Strahlung verursacht waren, wenigstens der Größenordnung nach auch dann anzugeben, wenn die irgend einer bestimmten Entfernung entsprechende Anzahl der Stöße für den gleichen Strahler bekannt war. So konnte man auch Stoßzahlen in der Minute ermitteln, die über die Leistungsfähigkeit des Telephonsprechzählers hinausgingen.

Von dieser Tatsache wurde bei den folgenden Untersuchungen Gebrauch gemacht, um zu erfahren, bei welcher höchsten Anzahl von Stromstößen in der Minute eine abreißende Entladung im Lichtzähler noch erfolgte. Dabei wurde so verfahren, daß die Stoßzahlen, bewirkt durch einen Strahler in bekannter Entfernung, mit dem Telephonzähler gemessen wurden. Dann wurde der Strahler soweit an den Zähler herangeführt, bis die abreißende Entladung in eine selbständige Glimmentladung überging. Für diese Entfernung wurde dann die Stoßzahl, auf die im allgemeinen der Telephonsprechzähler nicht mehr reagieren konnte, berechnet.

Tabelle 2 zeigt in der ersten Zeile den der Kolumne entsprechenden Druck, in der zweiten Zeile die Entladungen in der Minute, die durch einen Strahler in 250 cm Abstand vom Lichtzähler hervorgerufen wurden, in der dritten Zeile den Abstand des Strahlers, als im Zählrohr selbständige Entladung einsetzte, in der vierten Zeile die kleinste Entfernung, bei der noch Stoßentladung erfolgte, schließlich in der fünften Zeile die der Entfernung der vierten Zeile entsprechenden berechneten Stoßzahlen.

Tabelle 2

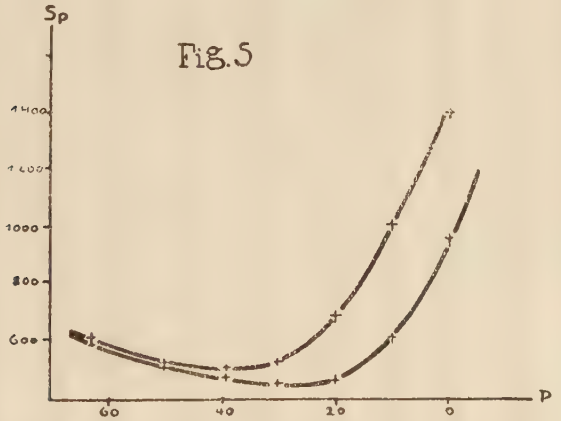
P = 58 mm	37	26	16	10
Stoßz. bei Abst. von 250 cm: 60	45	30	25	16
Entfernung bei selbst. Entld.: 60	40	25	25	26
min. Entf. bei Stoßentladg.: 62	42	26	26	28
berechnete Stoßzahlen: 1000	1670	2770	2300	1300

Aus diesem Ergebnis folgte, daß im Lichtzähler bei einem Druck von 20—28 mm Hg noch ungefähr 2500 getrennte Stromstöße in der Minute gleich 41 in der Sekunde erfolgten, ohne daß selbständige Entladung eintrat. Als strahlende Quelle wurde für die Messungen der ersten Spalte eine Kerze, bei den anderen eine Osram-Birne 220 Volt 40 Watt benutzt.

Um das Einsetzen der stationären Entladung in Abhängigkeit von Druck und Spannung noch näher zu erforschen, wurden Untersuchungen angestellt, deren Resultate durch die Tabelle 3 und die entsprechenden Kurven der Figur 5 wiedergegeben werden.

Tabelle 3

P = 63 mm	50	39	30	20	10	4
Anfangssp. d. Stoßentl. 590 Volt	500	470	450	460	600	990
Spannung d. Glimmentl. 605 Volt	520	500	520	680	1000	1400



Die Tabelle und die Figur zeigen den Spannungsbereich bei entsprechendem Druck, in dem eine abreißende Entladung im Zählrohr erfolgte. Die obere Kurve bestimmt die sogenannte Schwellspannung, d. h. die Spannung, bei der die stoßweise erfolgende Entladung in eine stationäre überging. Als Strahler wurde eine Osram-Birne 220 Volt 40 Watt benutzt, die bei allen Messungen gleichen Abstand hatte.

Empfindlichkeit und Charakteristik des Spitzenzählers.

Zur Empfindlichkeitsbestimmung des Lichtzählers wurde das Ultraviolett einer Quecksilberpunktlampe mittels eines Quarzmonochromators in die einzelnen Linien zerlegt. Der Eingangsspalt des Monochromators wurde zur Vermeidung des Streulichts möglichst eng gestellt und der Ausgangsspalt durch eine vorgesetzte Quarzlinse scharf auf die Lötstellen einer Thermosäule (Moll) abgebildet. An die gleiche Stelle wurde später die Kathode des Lichtzählers gebracht. Die beiden Klemmen der Thermosäule waren mit einem Spiegelgalvanometer (Zernicke, Typ Ze) verbunden. Die Thermosäule wurde mit der Hefnerlampe nach den Angaben von Gerlach (13) geeicht.

Zur Eichung des Lichtzählers wurden die Linien 3020, 2800, 2650, 2540 AE der Quecksilberlampe benutzt. Die Linie 3020 AE wurde mit AE Objektträgerglas von 1 mm Dicke, die anderen Linien mit gleichem von 0,1 mm Dicke abgeschwächt.

Die Strahlungsenergie der Hefnerlampe beträgt in 1 m Entfernung $2{,}312{:}10^{-5}$ cal/cm^2 sec oder $9{,}66{:}10^{-5}$ Watt/cm^2. Diese Strahlung bewirkte einen Galvanometerausschlag von 88 Skalenteilen. Folglich entsprach einem Ausschlag von einem Skalenteil eine Energie von $1{,}1{:}10^{-6}$ Watt/cm^2. Die Strahlungsenergie der einzelnen Linien, die Durchlässigkeit der Filter und die Empfindlichkeit des Lichtzählers sind aus Tabelle 4 ersichtlich.

Tabelle 4

Linien in AE	3020	2800	2650	2540
Galvanometer-ausschläge	10,2	7	16	17,5
Strahlungs-energie in Watt/cm^2	$1{,}122\cdot10^{-5}$	$7{,}7\cdot10^{-6}$	$1{,}76\cdot10^{-5}$	$1{,}925\cdot10^{-5}$
Durchlässigk. der Filter	32%	25%	6,3%	4.2%
Zahl d. Filter	10	10	10	10
Durchgelassene Energie in Watt/cm^2	$1{,}27\cdot10^{-10}$	$7{,}34\cdot10^{-12}$	$1{,}73\cdot10^{-17}$	$3{,}28\cdot10^{-19}$
Zahl d. Stöße pro Minute	620	87	115	30

mittlere Dunkelstoßzahl betrug 10/min.

Die Werte der letzten Zeile sind Mittelwerte aus je 10 Einzelmessungen; die Dunkelstoßzahl wurde nach jeder Messung kontrolliert.

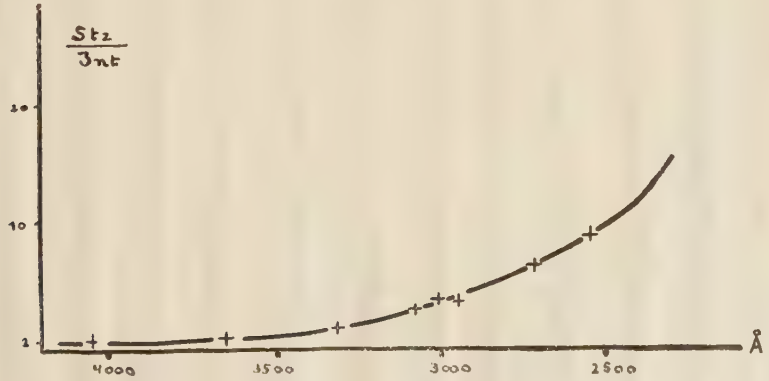
Weil ein Meßfehler bei den Angaben für die Durchlässigkeit der Filter das Endresultat sehr verfälschen würde, wurde jedes Filterglas einzeln auf die prozentuale Durchlässigkeit geprüft und der größte gemessene Wert zur Rechnung benutzt. Dagegen hat ein Fehler bei der Eichung der Thermosäule (höchstens 2% nach Gerlach (13)) nicht so großen Einfluß auf das Endresultat, da er nur linear in die Rechnung eingeht.

Es wird also nach der Tabelle die durchgelassene Energie von $2 \cdot 10^{-17}$ Watt/cm^2 der Linie 2650 AE nach Subtraktion der Dunkelstoßzahl mit 105 Stößen pro Minute und die Energie von $3 \cdot 10^{-19}$ Watt/cm^2 der Linie 2540 AE mit 20 Stößen pro Minute angezeigt.

Um nicht nach jedem Reinigen und Polieren der Kathode des Spitzenzählers von neuem die Empfindlichkeit bestimmen zu müssen, wurde mit dem geeichten Zähler die wirksame Energie einer gebräuchlichen Osramglühbirne 220 Volt 25 Watt aus Mattglas bestimmt. Der Abstand betrug 1 m, die Betriebsspannung an der Glühbirne 218 Volt. Der Lichtzähler reagierte auf diese Strahlung mit 540 Stößen pro Minute, bei einer Dunkelstoßzahl von 10 pro Minute. So konnte ohne großen Zeitverlust zwischen den einzelnen Messungen die Empfindlichkeit des Zählers rasch geprüft werden.

Zum Schluß dieser Untersuchungen wurde noch die Charakteristik des Zählers zu ermitteln gesucht. Gemessen wurden die Quecksilberlinien 4360, 4050, 3650, 3340, 3020, 2960, 2800, 2650, 2540 AE sowohl mit der Thermosäule in Verbindung mit dem Galvanometer wie auch mit dem Spitzenzähler. Die Kurve der Figur 6 stellt das Verhältnis von Stoßzahl zur relativen Intensität der einzelnen Linien als Funktion der Wellenlänge dar, sie ist die Charakteristik des Spitzenzählers.

Fig. 6



Die mitogenetische Strahlung.

Die mitogenetische Strahlung entdeckte Gurwitsch (14). Nach ihm haben sich viele Forscher bemüht, die Existenz dieser Strahlung sei es mit biologischen sei es mit physikalischen Methoden einwandfrei nachzuweisen. Mit wechselndem Erfolg. Chariton, Frank und Kannegießer (15) versuchten z. B. mit biologischen Hilfsmitteln die Realität und den Wellenlängenbereich der Strahlung dadurch zu bestimmen, daß sie die Wirkung der einzelnen Quecksilberlinien einer Quarzlampe auf die Mitosenzahl feststellten. Sie fanden das Spektrum der Strahlung nur in dem Bereich von 1900—2650 AE als mitogenetisch wirksam in Übereinstimmung mit Frank (16). Schreiber und Nakaidzumi (17) dagegen beobachteten die Entwicklung einzelner Hefezellen unter Einwirkung von Zwiebel-, Carcinom- und Blutstrahlung, ohne jedoch eine Beeinflussung im Wachstum der Hefezellen durch die Strahlung festzustellen.

Es ist bisher zweifelhaft geblieben, ob sich die mitogenetische Strahlung physikalisch bestätigen läßt. Rajewsky (2) hat zuerst zur Klärung dieser Frage versucht, das von ihm konstruierte Zählrohr anzuwenden. Es ist ihm im Jahre 1931 gelungen, an Zwiebelwurzeln, Zwiebelbrei und Carcinomgeweben eine Strahlung nachzuweisen. Seine Messungen ergaben eine Stoßzahlerhöhung von 5—30% über die Dunkelstoßzahl.

In den folgenden Jahren sind noch viele Untersuchungen in dieser Richtung unternommen worden. Zu gleichem positiven Ergebnis wie Rajewsky kamen Sturm (7), Krost (8) und in jüngster Zeit Zehnder (18), dagegen waren die Versuche von Schreiber und Friedrich (19), Bachem (6) und Glasser (20) erfolglos.

Die Ursachen für die negativen Ergebnisse der letzteren kann in der ungenügenden Empfindlichkeit der Meßanordnung wie auch in der Wahl der biologischen Objekte begründet sein, d.h. daß die Strahlungsquellen zum physikalischen Nachweis der mitogenetischen Strahlung ungeeignet waren.

Die folgenden Untersuchungen zum Nachweis der Existenz der mitogenetischen Strahlung wurden an Helianthuswurzeln und -Keimblättern, an Erbsen- und Bohnenkeimlingen, an keimenden Kartoffelknollen und keimendem Weizen, an Froschmuskeln, -Nerven und -Herzen durchgeführt.

Es wurde im allgemeinen bei elektrischer Deckenbeleuchtung gearbeitet, nachdem sich gezeigt hatte, daß die Dunkelstoßzahl durch die künstliche Beleuchtung nicht beeinflußt wurde, daß also das von der Glühbirne ausgestrahlte Ultraviolett durch die Glasglocke absorbiert wurde. Zum Nachweis kleinster Strahlungsenergien wurde in völliger Dunkelheit gemessen.

Außer tierischen Geweben zeigten Helianthuswurzeln und -Keim-

blätter die stärkste mitogenetische Strahlung. Die einzelnen Pflanzen entstammten Zimmerkulturen, der Boden war humusreiche Blumenerde. Die Keimlinge wurden nach 5—10tägigem Wachstum sorgfältig von anhaftender Erde befreit und in Wasser aufbewahrt. Bei den Untersuchungen wurde so verfahren, daß abwechselnd die Strahlung der Objekte und die Zahl der Dunkelstöße gemessen wurde. Sollten Wurzeln untersucht werden, so wurde die nicht von der Pflanze getrennte Wurzel in eine Kapillare aus Glas gesteckt und die Wurzelspitze unmittelbar vor das Fenster des Spitzenzählers gelegt. Bei der Messung der Dunkelstöße wurde, um möglichst gleiche Bedingungen zu haben, das Glasröhrchen allerdings jetzt ohne Pflanze vor dem Zähler gelassen. Sollte die Strahlung von Keimblättern gemessen werden, so wurde in gleicher Weise verfahren, nur daß jetzt diese vor den Lichtzähler gehalten wurden.

Im Laufe von fünf Monaten (April bis August) sind über 100 Helianthuskeimlinge einzeln und zu mehreren zusammengefaßt auf ihre Strahlung hin untersucht worden. Jede Messung wurde 3—5 Minuten durchgeführt und jedes Exemplar wenigstens dreimal, die meisten fünfmal untersucht. Von den in den Monaten April bis Juli ungefähr 180 durchgeführten Messungen an Helianthuswurzeln verliefen nur 25 ergebnislos. Bei den anderen ergab sich eine mittlere Stoßzahlerhöhung gegenüber der Dunkelstoßzahl von 80—120% auf ein Exemplar bezogen, bei den Keimblättern eine solche von 30—70% pro Exemplar. Tabelle 5 gibt zwei Meßreihen, die eine von Helianthuswurzeln, die zweite von Keimblättern wieder. Die prozentuale Erhöhung in der Tabelle bezieht sich auf eine mittlere Dunkelstoßzahl von 29 Stößen bei Wurzel bzw. 26 Stößen bei Keimblättern.

Tabelle 5

Stoßzahl	Dunkelstöße	Zeit	Erhöhung
72	26	3 min	140%
69	30	3 „	138%
76	30	3 „	162%
78	28	3 „	169%
Objekte waren 2 Wurzeln.			
41	26	3 „	57%
43	28	3 „	65%
47	26	3 „	81%
39	26	3 „	50%
39	25	3 „	50%

Objekte waren die Keimblätter von 2 Keimlingen

Es sei noch ausdrücklich betont, daß im Laufe der Untersuchungen die Dunkelstoßzahl nicht ein einziges Mal über 14 Stöße pro Minute anwuchs, ferner daß irgend welche anderen Objekte wie Stabstücke aus Metall, aus Holz und Metallbleche, die vor den Lichtzähler gelegt wurden, nie eine Stoßzahlerhöhung bewirkten.

Es konnte nun noch möglich sein, daß die trotz sorgfältigster Behandlung noch immer an den Wurzelhaaren anhaftenden Erdreste oder Mikroorganismen die Strahlung bewirkten. Um dies zu prüfen, wurden zunächst die Topferde und das Spülwasser auf Strahlung untersucht. Eine Stoßzahlerhöhung ließ sich trotz wiederholter Messungen nicht feststellen. Ferner wurden dann auf Anraten von Herrn Prof. Dr. L. Grebe nur Pflanzen zu den Messungen benutzt, die in Nährlösung gezogen waren[1]). Und zwar wurden die Helianthuskerne in reinem Quarzsand, der mit der Nährlösung getränkt war, zum Keimen gebracht und nach zwei bis drei Tagen in reiner Lösung weiter gezogen. Die Pflanzen zeigten hinsichtlich ihrer Strahlung kein abweichendes Ergebnis von denen, die in Blumenerde gewachsen waren. Nur wiesen von den in Nährlösung gezogenen Pflanzen die Keimblätter den stärksten Effekt auf von ungefähr 100%, während die Wurzeln, die sich in der Lösung nicht voll entwickelten, sondern sich vielfach verzweigten, zur Untersuchung nicht recht geeignet waren.

Um den Sitz der Strahlung in den Keimlingen festzustellen, wurde mit einem scharfen Messer Millimeter um Millimeter bei besonders kräftig strahlenden Objekten von der Wurzelspitze und den Keimblättern abgetrennt und die noch vorhandene Strahlung gemessen. Dabei ergab sich in den Wurzeln ein Strahlungsbereich, der ein Millimeter oberhalb der Wurzelspitze begann und sich 1,5—2 mm ausdehnte; bei den Keimblättern ließ sich die strahlende Zone nicht genau ermitteln, da auch Pflanzen, denen die Keimblätter fast völlig abgetrennt waren, noch immer, wenn auch schwächer, strahlten. Wurde jedoch auch der Wachstumspunkt von der Pflanze abgeschnitten, so ließ sich bei dem übriggebliebenen Teile des Keimlings kein Effekt mehr nachweisen.

Versuche, die an den anderen biologischen Objekten durchgeführt wurden, ließen z. T. ebenfalls deutlichen mitogenetischen Effekt nachweisen. Erbsen und Bohnenkeimlinge zeigten einen solchen von ungefähr 80% bei je zwei Objekten, dagegen konnte bei Erbsenwurzeln keine Strahlung erkannt werden. Die Strahlung von keimendem Weizen erhöhte die Stoßzahl um 23—52%, je nachdem Wurzeln oder die Sprossen dem Lichtzähler zugekehrt waren. Keimende Kartoffelknollen ließen eine sehr schwache Strahlung nachweisen mit einer Stoßzahlerhöhung von ungefähr 10—15%. Zwiebelsohlenbrei bewirkte eine Erhöhung von ungefähr 75%, die aber innerhalb 15 Minuten schon auf Null sank, jedoch bei jedem frisch bereiteten Brei wieder auftrat.

1) Bestandteile der Nährlösung sind hinten angegeben.

Besonders deutliche mitogenetische Strahlung ließ sich bei einem noch schlagenden Herzen vom Wasserfrosch erkennen. Es ergab einen Effekt von 80—200% gegenüber der Dunkelstoßzahl, je nachdem die Herzwurzel oder die Spitze dem Zähler zugewandt war. Bei den einzelnen Untersuchungen wurde das Herz in eine genügend weite Glasröhre gesteckt und dicht vor das Fenster des Spitzenzählers gehalten. Nach jeder Messung, die drei Minuten dauerte, wurde das Objekt in Ringerlösung gelegt und die Dunkelstoßzahl kontrolliert. Regelmäßig nach ungefähr 50—60 Minuten nahm mit der Herztätigkeit auch die Stoßzahlerhöhung also auch die Strahlungsenergie ab. Die Untersuchungen wurden an fünf Objekten bei allen mit gleichem Erfolg durchgeführt. Tabelle 6 zeigt eine charakteristische Meßreihe. Man kann an dem abklingenden mitogenetischem Effekt deutlich die nachlassende Herztätigkeit erkennen.

Tabelle 6

Stoßzahl	Dunkelstöße	Zeit	Erhöhung
70	24	3 min	192%
77	26	3 „	196%
70	24	3 „	192%
51	19	3 „	168%
34	23	3 „	48%
25	22	3 „	14%

Mechanisch oder elektrisch gereizte Muskeln oder Nerven von Fröschen strahlten nicht oder so schwach, daß der Spitzenzähler nicht darauf reagierte.

Zum Schluß dieses Abschnitts sei noch eine Erfahrungstatsache erwähnt, die im Laufe der Untersuchungen gemacht wurde, nämlich die Abhängigkeit der Strahlungsintensität von der Jahreszeit. Ende März begannen die Messungen an den pflanzlichen Objekten mit bald positiven bald negativen, jedoch größtenteils negativen Ergebnissen. In den folgenden Monaten bis Anfang Juli aber fanden sich zum Beispiel unter den Helianthuskeimlingen nur 15 unter 100, bei denen sich keine Strahlung feststellen ließ. Dieses Verhältnis nahm aber später (Juli—August) rasch zu. So zeigten von acht Keimlingen am 9. Juli, die in Blumenerde gewachsen waren, nur drei Pflanzen einen nachweisbaren Effekt. Am 24. Juli wurden nochmals 12 Pflanzen, die zu gleicher Zeit gepflanzt und unter gleichen Bedingungen gewachsen waren, untersucht, nur eine bewirkte eine Stoßzahlerhöhung von 26%. Bei den in Nährlösung gezogenen Pflanzen ließ sich noch bis Anfang August bei einzelnen besonders kräftig entwickelten Exemplaren ein Effekt nachweisen.

Aus den in diesem Abschnitt beschriebenen Untersuchungen geht

also hervor, daß bei Auswahl geeigneter biologischer Strahlungsquellen ein physikalischer Nachweis der mitogenetischen Strahlung mit einer hinreichend empfindlichen Meßanordnung möglich und durchführbar ist.

Die Strahlung chemischer Reaktionen.

Schon Gurwitsch wies darauf hin, daß wahrscheinlich ein Zusammenhang zwischen dem Entstehen der mitogenetischen Strahlung und einem Oxydationsvorgang in den Zellen des biologischen Objekts bestehe. In gewissen Fällen konnte die Strahlung durch Cyanid oder, wenn die aussendenden Zellen narkotisiert wurden, unterdrückt werden. Ebenso fehlt auch die Strahlung des Blutes, sonst eine intensitätsstarke Strahlungsquelle, wenn das Blut mit Kohlensäure gesättigt ist.

Ergebnisse anderer Versuche deuten jedoch auch darauf hin, daß außer Oxydationsvorgängen noch andere chemische Reaktionen in den Zellen für das Auftreten der mitogenetischen Strahlung bedeutungsvoll sein können. So sind in den Jahren nach der Entdeckung dieser Strahlung manche chemische Reaktionen auf Strahlung hin untersucht worden. Zum Teil mit positivem Erfolg, so daß die Bezeichnung dieser Strahlung mit „Chemilumineszenz" seine Berechtigung und Bedeutung haben dürfte. Barth (21) z. B. konnte bei der Umsetzung: Kaliumdichromat + Eisenvitriol + Schwefelsäure im Jahre 1935 eine Strahlung physikalisch feststellen, deren Wellenlänge in den Bereich der mitogenetischen Strahlung fiel. Wolf und Ras (22), Frank und Rodionow (23), die sich hauptsächlich mit Oxydationsprozessen beschäftigten, kamen ebenfalls zu einem positiven Ergebnis im Gegensatz zu Kreuchen und Batemann (24). In neuester Zeit glaubte Zehnder (18) mittels photographischer Platte eine Strahlung bei der Reaktion: Eisen + Schwefelsäure festgestellt zu haben. Aber wegen der sehr langen Belichtungszeit konnten auch direkt chemische Einflüsse erfolgt sein; dafür spricht auch die Tatsache, daß bei den Versuchen Quarzdeckgläschen in gleicher Weise die Strahlung absorbierten wie solche aus Glas.

Zu den folgenden Versuchen wurden hauptsächlich solche chemischen Reaktionen gewählt, die bei schnellem Ablauf stark exotherm verliefen. Es wurden untersucht:

$Al + HCl$	(ergibt:	$AlCl_3 + H_2$)
$Fe + H_2SO_4$	(„	$FeSO_4 + H_2$)
$KMnO_4 + H_2O_2 + H_2SO_4$	(„	$MnSO_4 + K_2SO_4 + H_2O + O_2$)
$HgCl_2 + SnCl_2$	(„	$HgCl + SnCl_4$)
$P_2O_5 + H_2O$	(„	HPO_3)
$K_2Cr_2O_7 + FeSO_4 + H_2SO_4$	(„	$K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 \cdot H_2O + FeSO_4 + O_2$)
$KClO_3 + Zn + NaOH$	(„	$NaCl + H_2O$)

Zum Nachweis einer Strahlung der zuerst aufgeführten Reaktion wurde ein Aluminiumblech in der Größe 6,6 cm und 1,2 mm dick abgeschmirgelt und an einer geeigneten Stelle mit konzentrierter rauchender Salzsäure betropft. Außerdem wurde die betropfte Stelle noch mit chemisch reinem Aluminiumpulver bestreut. Da die Reaktion schnell einsetzte, wurde das Blech rasch in senkrechter Stellung vor den Lichtzähler gehalten; es mußte dabei geachtet werden, daß der Säuretropfen nicht zu groß war, da sonst durch große Blasenbildung die evtl. auftretende Strahlung absorbiert werden konnte. Das Blech hatte bei den Messungen einen Abstand vom Lichtzähler von 9—10 mm. Es ergab sich eine Stoßzahlerhöhung von 200—280% gegenüber der Dunkelstoßzahl. Bei einem Abstand von 20 mm des Bleches vom Spitzenzähler betrug der Effekt 80—130%, Mittelwert war 106%. Tabelle 7 gibt eine Meßreihe wieder bei einem Abstand von 20 mm. Die prozentuale Erhöhung ist auf eine mittlere Dunkelstoßzahl von 8 Stößen in der Minute bezogen.

Tabelle 7

Stoßzahl	Dunkelstöße	Erhöhung
15	7	87,5%
18	8	125 %
14	8	75 %
17	9	112,5%
18	8	125 %
	Mittelwerte	
16,4	8	105 %

Da die chemische Umsetzung rein oberflächlich hauptsächlich in dem aufgestreuten Aluminiumpulver verlief, wurde jede Messung nur 1—1,5 Minuten ausgedehnt. Jedoch war unter 53 durchgeführten Messungen das Verhältnis 17,5 : 10 von Stoßzahl zu Dunkelstößen das kleinste, welches noch einer Erhöhung von 75% entspricht; dabei betrug die Entfernung Blech—Lichtzähler 20 mm.

Um die Anordnung des Meßverfahrens nicht bei der Ermittlung der Dunkelstöße zu ändern, wurde auch dann das Aluminiumblech in gleichem Abstand vor den Zähler gehalten, nur daß jetzt die Rückseite des Bleches, die nicht mit Salzsäure betropft worden war, dem Fenster des Lichtzählers zugekehrt war.

Im Laufe der Untersuchungen wurden in der Minute maximal 11 Dunkelstöße gezählt, während die Stoßzahl unter Einwirkung der chemischen Umsetzung den Wert 13/min keinmal unterschritt.

Das gleiche Verfahren wurde auch zum Nachweis der Strahlung von der Reaktion Eisen + Schwefelsäure angewandt. Es wurden möglichst

kohlenstoffarmes Eisen und konzentrierte Schwefelsäure benutzt. Die mittlere Stoßzahlerhöhung betrug bei 32 ausgeführten Messungen 75%, bei einem Abstand Eisenblech—Spitzenzähler von 20 mm. Das kleinste Verhältnis nämlich 13 : 10 von Belichtungsstoßzahl zu Dunkelstößen entspricht einer Erhöhung von 30%. Eine Meßreihe dieser Reaktion zeigt Tabelle 8.

Tabelle 8

Stoßzahl	Dunkelstöße	(bezogen auf 8 Dunkelstöße) Erhöhung
13	8	63,0%
15	9	87,5%
17	8	112,5%
16	6	100 %
14	8	75 %
	Mittelwerte	
15	8	87,5%

Zur Untersuchung der auftretenden Strahlung bei der Reaktion: Kaliumpermanganat + Wasserstoffsuperoxyd wurde eine Küvette mit Quarzfenster benutzt, die dicht vor den Lichtzähler gestellt wurde. Da diese Reaktion sehr schnell verläuft, konnte ein Strahlungseffekt nur dadurch festgestellt werden, daß jedes Mal bei Vereinigung der beiden Stoffe eine plötzliche Stoßzahlerhöhung, eine Entladungsserie von ungefähr 10—15 Stößen, erfolgte, während ein derart rasches Aufeinanderfolgen der Dunkelstöße niemals beobachtet wurde.

Die gleiche Erscheinung zeigte sich auch bei den folgenden Reaktionen: Quecksilberchlorid + Zinnchlorür, Phosphorsäureanhydrid + Wasser, Kaliumdichromat + Eisenvitriol + Schwefelsäure. Bei diesen Umsetzungen ließ sich ein Strahlungseinfluß auf den Lichtzähler ebenfalls durch eine plötzliche im Augenblick der Reaktion einsetzende Serie von Entladungsstößen klar feststellen, wenn gleich sich auch die Zahl der Serienstöße nur um den Wert 6 gruppierte.

Die Reaktionen: Kaliumchlorat + Zink + Natronlauge und Salzsäure + Natronlauge ließen keine Strahlung erkennen.

Somit ist zweierlei durch diese Untersuchungen erwiesen:

1. Die Annahme Gurwitsch's, die mitogenetische Strahlung könnte durch chemische Umsetzungen innerhalb der strahlenden Zellen veranlaßt sein, hat an Wahrscheinlichkeit gewonnen.

2. Der Lichtzähler, in oben angegebener Form, ist zum Nachweis der chemischen Strahlung bei sorgfältiger Ausführung gut geeignet.

Wellenlänge und Energie der mitogenetischen und chemischen Strahlung.

Verschiedene Arbeiten enthalten bereits Angaben über den Wellenlängenbereich der mitogenetischen und chemischen Strahlung. Chariton, Frank und Kannegießer (15) wie auch Rajewsky (2) und Konarski (25) fanden das Spektrum dieser Strahlung auf einen Bereich von 2000—2400 AE beschränkt. Sie bestimmten die Wellenlänge der Strahlung dadurch, daß sie das Spektrum einer künstlichen Lichtquelle in seiner Wirkung auf die Mitosenzahl untersuchten. Krost (8) versuchte den Wellenlängenbereich der mitogenetischen Strahlung mittels Filter festzustellen. Er fand als obere Grenze 2650 AE bei Helianthuskeimlingen, während die untere fraglich blieb.

Dagegen fanden Reiter und Gabor (26) einen Wellenlängenbereich um 3340 und 2800 AE für die mitogenetische Strahlung. Sie benutzten ebenfalls die obenerwähnte Methode. Ruyssen (27) fand bei Bestrahlung von Staphylokokkenaufschwemmungen mit ultraviolettem Licht das Gebiet von 2600—2900 AE mitogenetisch wirksam, Barth (21) dagegen das Gebiet von 2000—2600 AE für die Strahlung chemischer Reaktionen.

Zur Prüfung dieser sich zum Teil widersprechenden Resultate wurde bei den folgenden Messungen versucht, den Bereich der mitogenetischen und chemischen Strahlung durch Filter, die verschiedene Wellenlängengebiete absorbierten, zu bestimmen. Zu diesem Zweck wurden die folgenden Filter verwandt.

ein Glasfilter	1,4 mm	dick	
„ Uviolglasfilter	1,4 mm	„	
„ Corningfilter	5 mm	„	(Corex 986 A)
„ Alkoholfilter	10 mm	„	(in Küvette mit Quarzfenstern)
„ Quarzfilter	2 mm	„	(Fenster des Lichtzählers)

Die Durchlässigkeit dieser Filter in Abhängigkeit von der Wellenlänge wurde aus Tabellen (28) und photographisch mittels eines Quarzspektrographen bestimmt. Zur Prüfung der Durchlässigkeit der ersten drei Filter wurde eine Quecksilberquarzlampe, der des Alkohol-(Äthylalkohol absolut, $C_2H_5(OH)_3$) und des Quarzfilters ein Aluminiumbogen benutzt. Tabelle 9 gibt die ermittelten Werte der einzelnen Filter wieder.

Tabelle 9

Filter	Durchlässigkeit 50% unterhalb	25% unterhalb	2% unterhalb
Glas	—	3660	3130
Uviolglas	—	2890	2650
Corningfilter	2890	2650	2540
Alkoholfilter	2400	2200	2050
Quarz	1800	—	—

Durch verschiedene Kombinationen dieser Filter gelang es, einzelne Spektralbereiche auszumessen.

Die unterste Grenze des Spektrums der mitogenetischen und chemischen Strahlung war durch das Quarzfenster des Lichtzählers bestimmt, die obere Grenze durch die Feststellung, daß bei allen Untersuchungen die Stoßzahlerhöhung gegenüber der Dunkelstoßzahl auf Null sank, wenn bei unveränderter Anordnung zwischen Objekt und Lichtzähler das Glasfilter, ja sogar das Uviolglasfilter geschoben wurde. So erwies sich das Glasfilter als ein gutes Mittel zur Prüfung, ob eine auftretende Stoßzahlerhöhung durch die Strahlung eines Objekts oder durch eine zufällige Inkonstanz der Dunkelstoßzahl hervorgerufen wurde.

Das Spektrum der mitogenetischen und chemischen Strahlung lag somit in einem Gebiet, das durch die Wellenlängen 2700 und 1800 AE abgegrenzt war.

Insbesondere wurde die Lage des Spektrums näher untersucht bei:

Helianthuskeimlingen,
keimendem Weizen,
Herz des Wasserfrosches,
Reaktion: Al + HCl,
Reaktion: Fe + H_2HO_4,
und anderen Reaktionen.

Das Alkoholfilter war für die Strahlung der untersuchten Helianthuswurzeln und -Keimblätter durchlässig. Die Strahlung wurde nur in soweit gemindert, als auf Rechnung der durch das Filter bedingten größeren Distanz des strahlenden Objekts vom Lichtzähler und auf Rechnung der an dem Filter reflektierten Strahlenenergie kommt. Dagegen ließ der Corningfilter nur einen Bruchteil von ungefähr 17% bei Helianthuswurzeln und von 40% bei -Keimblättern der Gesamtstrahlung durch. Da nach Tabelle 9 das Corningfilter unterhalb 2650 AE bis 2540 AE eine Durchlässigkeit von weniger als 25% besitzt, so folgt aus diesen Angaben, daß der größte Teil des Spektrums der Strahlung von Helianthuswurzeln in dem Bereich von 2600—2500 AE und das

Spektrum der -Keimblätter in dem Bereich von 2700—2650 AE liegen mußten.

Die Wellenlänge der von keimendem Weizen herrührenden Strahlung konnte nur nach steigenden Wellenlängen hin mittels des Corningfilters, das die Strahlung völlig absorbierte, mit 2650 AE abgegrenzt werden. Da diese Strahlung maximal eine Stoßzahlerhöhung von 52% bewirkte, sank dieser Effekt auf ungefähr 12% schon allein dadurch, daß das Objekt auf das Doppelte vom Zähler entfernt werden mußte, um das Alkoholfilter dazwischen schieben zu können. Infolgedessen ließ sich ein Strahlungseinfluß durch das Alkoholfilter hindurch nicht feststellen.

Dagegen ließ das Alkoholfilter die von einem pulsierenden Herzen des Wasserfrosches ausgehende Strahlung bei Berücksichtigung des vergrößerten Abstandes ungeschwächt durch. Das Corningfilter absorbierte indessen 80—92% der Strahlung. Aus obigen Angaben berechnet sich dann für die Lage des Spektrums ein Bereich von 2550—2400 AE. Tabelle 10 gibt ein Teil der Messungen, die an einem Froschherzen angestellt wurden, wieder; zwischen den Messungen mit den verschiedenen Filtern wurde stets die Stoßzahlerhöhung der ungefilterten Strahlung kontrolliert.

Die Strahlung aller untersuchten chemischen Reaktionen wurde außer bei $Fe + H_2SO_4$ unterhalb der Wellenlänge von 2540 AE liegend gefunden, da sich das Corningfilter für die ausgedehnte Strahlung als undurchlässig erwies.

Bei der Reaktion: $Al + HCl$ ließ das Alkoholfilter dagegen ungefähr 55—60% der Gesamtstrahlung durch; folglich lag der größte Teil des Spektrums dieser Umsetzung in dem Gebiet von 2540—2200 AE. Für die Strahlung der Reaktion: $Fe + H_2SO_4$ betrug die Durchlässigkeit des Alkoholfilters ungefähr 84%, die des Corningfilters 20%. Damit ergibt sich eine Lage für das Spektrum dieser Reaktion zwischen 2600 und 2500 AE.

Tabelle 10

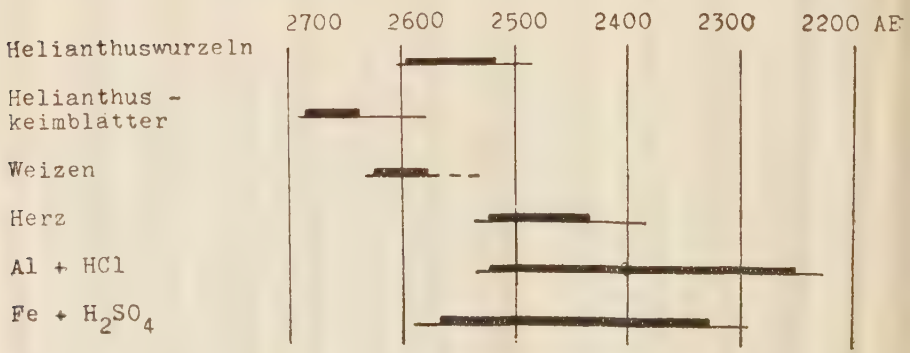
Stoßzahl/min		Dunkelstöße/min
	ohne Filter	
20		11
22		10
18		10
	mittlere Erhöhung:	100%
	mit Corningfilter	
13		10
11		9
12		10
11		10
	mittlere Erhöhung:	15%

Stoßzahl/min		Dunkelstöße/min
	ohne Filter	
19		10
	mittlere Erhöhung:	90%
	Uviolglasfilter	
10		11
11		9
10		10
10		11
	mittlere Erhöhung:	0%
	ohne Filter	
19		11
16		9
	mittlere Erhöhung:	80%

Bei den anderen noch untersuchten Reaktionen: $KMnO_4 + H_2O_2 + H_2SO_4$; $HgCl_2 + SnCl_2$ konnten wegen der plötzlich auftretenden Stoßserien nicht mit Sicherheit die Grenzen der Spektren ermittelt werden. Jedenfalls liegen sie zwischen 2600 und 2200 AE.

Zusammenfassend kommt man zu dem Resultat, daß die mitogenetische und chemische Strahlung bei den untersuchten biologischen und chemischen Strahlungsquellen in einem Wellenlängenbereich liegt, der durch die Wellenlängen 2700 und 2200 AE begrenzt ist. Über die ermittelten Spektren der untersuchten Objekte gibt Tabelle 11 eine Übersicht.

Tabelle 11



Mittels der Empfindlichkeitsmessungen des Spitzenzählers und der Bestimmung der Spektren der untersuchten Strahler kann man wenigstens der Größenordnung nach die ausgesandte Energie der Objekte berechnen.

Oben ist angegeben, daß der Lichtzähler eine Energie von $3{,}28 \cdot 10^{-19}$ Watt/cm^2 der Linie 2540 AE noch mit 30 Stößen gegenüber 10 Dunkelstößen gleich 200% Erhöhung und eine Energie von $1{,}73 \cdot 10^{-17}$ Watt/cm^2 der Linie 2650 AE mit 115 : 10 Stößen gleich 1050% Erhöhung registrierte.

Da bei den Helianthuswurzeln, dessen Spektrum um 2540 AE angenommen werden kann, eine mittlere Stoßzahlerhöhung von 100% pro Exemplar gefunden wurde, so entspricht dieser Erhöhung eine Energie von ungefähr $1{,}64 \cdot 10^{-19}$ Watt/cm^2. Im gleichen Wellenlängenbereich wie das Spektrum der Wurzeln liegt auch das des Froschherzens. Bei einem mittleren Effekt von ungefähr 140% ergibt sich für die Strahlungsenergie $2{,}3 \cdot 10^{-19}$ Watt/cm^2.

Für die chemische Strahlung beträgt die Strahlungsenergie ungefähr $1{,}64 \cdot 10^{-19}$ Watt/cm^2 bei der Reaktion Al + HCl (mittlerer Effekt 100%) und $1{,}23 \cdot 10^{-19}$ Watt/cm^2 bei Fe + H_2SO_4 (Effekt 75%), wenn man für all diese Strahler die gleiche Wellenlänge der Energiebestimmung (2540 AE) zu Grunde legt.

Die Strahlungsenergie der Helianthuskeimlinge beträgt, wenn die Empfindlichkeit des Lichtzählers für die Linie 2650 AE berücksichtigt wird, $1{,}7 \cdot 10^{18}$ Watt/cm^2 (mittl. Stoßzahlerhöhung 100%) und die des keimenden Weizens ungefähr $8 \cdot 10^{-19}$ Watt/cm^2 (Effekt 38%).

Wenn den errechneten Werten für die ausgestrahlte Energie auch nicht große Genauigkeit zukommen kann, so erlauben sie doch, wenigstens die Größenordnung der ausgestrahlten Energie erkennen zu können. Ebenso wie das Spektrum für die meisten Objekte in seiner Lage verschieden gefunden wurde, so scheint auch jedes untersuchte Objekt einen ihm eigenen Energiebetrag auszustrahlen.

Zusammenfassung.

1. Es wird ein empfindlicher Spitzenlichtzähler mit Meßanordnung beschrieben.
2. Mit Hilfe dieses Lichtzählers wurde die mitogenetische Strahlung an verschiedenen biologischen Objekten und an chemischen Reaktionen nachgewiesen. Die Wellenlänge und Energie werden zu bestimmen versucht.

Herrn Prof. Dr. L. Grebe bin ich für die Anregung zu dieser Arbeit, für die Überlassung eines Arbeitsplatzes und besonders für sein stetes Interesse zu größtem Dank verpflichtet.

Die Pfeffer'sche Nährlösung.

Lösung 1:		
H_2O	340	gr
$MgSO_4$	20,5	„
Lösung 2:		
H_2O	340	gr
$Ca(NO_3)_2$	57,3	„
$K(NO_3)$	10	„
KH_2PO_4	10	„
P_2O_5	2,6	„
$FeCl_3$	3	Tropfen

Zum Gebrauch von jeder Lösung 10 cm^3 in ein Liter Wasser verdünnen.

Schrifttum.

1) H. Geiger u. W. Müller: Technische Bemerkungen zum Elektronenzählrohr, Phys. Z. Bd. 30, 1929, S. 489.
2) B. Rajewsky: Anordnung zur Messung kleinster Lichtintensitäten, Z. f. Phys. Bd. 63, 1930, S. 576.
3) B. Rajewsky: Weitere Erfahrungen mit dem Lichtzähler Ann. d. Phys. (5), Bd. 20, 1934, S. 13.
4) K. W. Haußer u. K. H. Kreuchen: Quantenausbeute bei Lichtzählern, Z. f. tech. Phys. Bd. 15, 1934, S. 20.
5) K. H. Kreuchen: Messung geringer Lichtintensitäten mit Hilfe von Zählrohren, Z. f. Phys. Bd. 94, 1935, S. 549.
6) B. Bachem: Anwendung des Geiger-Müller Zählrohres im Bereich des ultravioletten Lichtes, Diss. Bonn 1934.
7) B. Sturm: Eine neue Ausführungsform des Geigerschen Spitzenzählers zählers zur Lichtmessung, Z. f. Phys. Bd. 94, 1934, S. 85.
8) A. Krost: Über den Nachweis der mitogenetischen Strahlung mittels eines Spitzenzählers, Diss. Bonn 1936.
9) G. Medikus: Untersuchungen und Anwendungen des Geiger-Müllerschen Zählrohres in einer Schaltung mit der Braunschen Röhre, insbesondere Koinzidenzschaltung, Z. f. Phys. Bd. 74, S. 350.
10) J. N. Hummel: Untersuchungen am Elektronenzählrohr, Z. f. Phys. Bd. 76, 1932, S. 483.
11) K. Kniekamp: Zur Wirkungsweise des Elektronenzählrohrs von Geiger und Müller, Phys. Z. Bd. 30, 1929, S. 237.
12) W. Schulze: Der Enttladungsmechanismus im Geiger-Müllerschen Zählrohr und sein Zusammenhang mit Eigenschaften der normalen Glimmentladung, Z. f. Phys. Bd. 78, 1932, S. 92.
13) W. Gerlach: Die Gesamtbestrahlung der Hefnerlampe absolut gemessen, Phys. Z. Bd. 14, 1913, S. 577.
genetische Strahlung, Berlin 1932.
14) A. Gurwitsch: Das Problem der Zellteilung, Berlin 1926. Die mito-
15) J. Chariton, G. Frank und N. Kannegießer: Über die Wellenlänge und Intensität der mitogenetischen Strahlung, Naturw. Bd. 18, 1930, S. 411.
16) G. Frank: Das mitogenetische Reizminimum und -maximum und die Wellenlänge mitogenetischer Strahlung, Biol. Zbl. 49, 129—141, 1929.
17) H. Schreiber und M. Nakaidzumi: Untersuchungen über das mitogenetische Strahlungsproblem; Beitrag zur Frage der Zwiebel-, Carcinom- und Blutstrahlung, Bioch. Z. 247, S. 161, 1932.
18) L. Zehnder: Eine neue unsichtbare Strahlung, Basel 1937.
19) H. Schreiber und W. Friedrich: Über Nachweis und Intensität der mitogenetischen Strahlung, Biochem. Z. 227, S. 336, 1930.
20) O. Glaßer: The detection of mitogenetic radiaton, Verh. 1. internat. Kongr. Elektro-Radio-Biol. 2, S. 778, 1931.
21) H. Barth: Zur Untersuchung mitogenetischer Strahlung mit Hilfe des physikalischen Differenzverfahrens. Biochem. Z. 287.
— H. Barth: Zur Untersuchung der mitogenetischen Strahlung mit dem Zählrohr, Naturw. 1935, S. 688.
— Physikalische Versuche zum Problem der mitogenetischen Strahlung, Biochem. Z. 285, S. 311, 1936.

22) L. K. Wolf und G. Ras: Über Gurwitschstrahlen bei einfachen chemischen Reaktionen, Acta brev. neerl. Physiol. etc. 2, S. 91, 1932.
23) Frank und S. Rodinow: Physikalische Untersuchungen mitogenitescher Strahlung der Muskel und einiger Oxydationsmodelle, Biochem. Z. 249, S. 323, 1932.
24) K. H. Kreuchen und Z. B. Batemann: Physikalische und biologische Untersuchungen über mitogenetische Strahlung, Protoplasma (Berl.) 22, S. 243, 1934.
25) J. Konarski: Wellenlänge der mitogenetischen Strahlen, Acta Biol. exper. (Warszawa) 7, S. 276, 1932.
26) T. Reiter und D. Gabor: Der heutige Stand des Problems der Gurwitsch-Strahlen, Arch. exper. Zellforschung 11, S. 21 u. 87, 1931.
27) R. Ruyssen: Sur l'énergie et les limites de longueur d'onde des rayons mitogénétiques, Acta brev. neerl. Physiol. etc. 3, 141—142, 1933. Technologie, 1929 Vol. 5.
28) International Critical Tables of numerical Data, Physics, Chemistry, and Jenauer Glaswerke Schott & Gen. Jena, Optische Glasfilter 289 E.

Lebenslauf.

Geboren wurde ich, Lothar Peukert, am 2. April 1911 zu Dembowko (Provinz Posen) als Sohn des Lehrers Richard Peukert und seiner Ehefrau Hedwig, geb. Schwierk. Ich bin katholischer Konfession, besuchte vier Jahre die Vorschule in Küstrin und dann das humanistische Gymnasium in Recklinghausen und Köln. Dort erhielt ich im Februar 1932 das Zeugnis der Reife.

Ab Herbst 1933 war ich als Student der Physik und Mathematik an der Rhein. Friedrich-Wilhelms-Universität in Bonn immatrikuliert. Nach dem Sommersemester 1936 widmete ich mich hauptsächlich der Einarbeitung in das Gebiet Röntgenstrahlen und lichtelektrischer Untersuchungen unter Anleitung des Herrn Prof. Dr. L. Grebe und fertigte vorliegende Arbeit an.